

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA  
OPE – ORGANIZACIÓN DE LA PRODUCCIÓN Y DE EMPRESA (ASPECTOS  
TÉCNICOS, JURÍDICOS Y ECONÓMICOS EN PRODUCCIÓN )

## **Modelo de Gestión para la Innovación de la Secuencia de Suministros**

Joaquín Bautista

OPE-WP.2014/05 (20141002)  
(Documento científico-técnico: 02CN03-1 Cátedra Nissan  
UPC 2004 November)



**PROTHIUS**  
Càtedra Organització Industrial

<http://futur.upc.edu/10954555>

<http://www.prothius.com>

**Proyecto 02CN03: Modelo de Gestión para la  
Innovación de la Secuencia de Suministros**



Presentación .....	1
<b><i>Parte Primera: Entorno general del Proyecto</i></b>	
1 PRELIMINARES .....	5
2 DOUKI SEISAN .....	5
2.1 Concepto .....	5
2.2 Características y objetivos .....	6
2.3 Categorías .....	6
2.4 Puntos clave para la aplicación de Douki Seisan .....	7
2.5 Sistema de Índices .....	8
3 SITUACIÓN INICIAL .....	9
4 SITUACIÓN IDEAL .....	11
<b><i>Parte Segunda: El Proyecto</i></b>	
5 PRELIMINARES .....	15
6 OBJETIVOS GENERALES.....	15
7 ENFOQUES. UNA BREVE DISCUSIÓN.....	16
8 PARTICIPANTES.....	18
8.1 Proveedores seleccionados.....	18
8.2 Equipo NMISA-UPC.....	19
9 PLANIFICACIÓN DE TAREAS.....	20
10 FASES DEL PROYECTO.....	21
10.1 Fase de análisis.....	21
10.2 Fase de detección de oportunidades de mejora.....	22
10.3 Fase de propuestas de soluciones.....	23
11 RESUMEN DE ACTIVIDADES DESARROLLADAS.....	29
11.1 Visitas tecnológicas.....	29
11.2 Reuniones.....	33
11.3 Informes de seguimiento.....	33
11.4 Desarrollo de una aplicación informática.....	33
11.5 Actividades académicas.....	34
<b><i>Parte Tercera: Conclusiones y posibles extensiones</i></b>	
12 CRONOGRAMA FINAL.....	39
13 CONCLUSIONES.....	39
14 POSIBLES EXTENSIONES.....	40



## Presentación

El 26 de junio del año 2003 tuvo lugar, en la Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Industrial de Barcelona, ETSEIB, la presentación de la propuesta de dos Proyectos de Investigación, a cargo de la Cátedra Nissan Motor Ibérica (CN) de la UPC:

- 01CN03: *Modelo de Simulación para la Gestión de la Complejidad de Fabricación.*
- 02CN03: *Modelo de Gestión para la Innovación de la Secuencia de Suministros.*

Para el desarrollo de ambos Proyectos se contó con la colaboración de equipos de trabajo constituidos por miembros de Nissan Motor Ibérica (NMISA) y de la UPC coordinados a través de la Cátedra.

Los miembros del equipo multidisciplinario NMISA-CN-UPC del proyecto *Modelo de Gestión para la Innovación de la Secuencia de Suministros* mantuvieron una serie de reuniones (el 29 de Enero, 11 y 18 de febrero del año 2004), las cuales posibilitaron la orientación definitiva de dicho proyecto.

El texto que inmediatamente sigue constituye el resumen del informe técnico del Proyecto 02CN03, el cual se ha estructurado en tres partes.

La parte primera está dedicada a la descripción del entorno general en el que se enmarca el Proyecto. En ella, tras una breve recopilación de conceptos e ideas claves que están relacionadas con la fabricación sincronizada, en contexto *Douki Seisan*, se presentan la situación de partida y la que se desea alcanzar.

La parte segunda constituye el informe en sí. Se definen los objetivos generales y se discuten los posibles enfoques para abordar el Proyecto; tras ello, se presentan las organizaciones y miembros participantes, así como la planificación de las tareas del Proyecto; finalmente, se describen las fases del Proyecto y las actividades desarrolladas en el curso del mismo.

La parte tercera recoge las conclusiones finales y posibles extensiones.

Sería difícil nombrar aquí a todas las personas que de una forma u otra han colaborado en el proyecto 02CN03, ya sea a título individual o a través de sus empresas (NMISA, EMTISA, VISTEON, EISA, etc.). A todas ellas queremos expresar nuestro más sincero agradecimiento, recordando de manera especial a Jesús Esteban, Eva Bargalló, Pierre Juliá, Valérie Gautsch, Jordi Pereira, Jaime Cano, Enric Brau, Carles Olivella, Raúl El-Fakdi, y a Xavier Ayneto, director académico de la Cátedra Nissan Motor Ibérica, Carlos Morant, director de la división de proyectos de NMISA, y Edurne Villabona de la empresa EMTISA.

JOAQUÍN BAUTISTA VALHONDO  
Responsable del Proyecto 02CN03  
*Barcelona, noviembre del 2004*



*Parte Primera:*  
*Entorno general del Proyecto*





## 1 PRELIMINARES

Desde sus inicios, la Industria se ha tenido que adaptar para poder satisfacer los requerimientos y necesidades de las personas. Este hecho ha significado un gran esfuerzo por parte de todos los actores involucrados en el proceso productivo que se han visto obligados a ajustes bajo parámetros competitivos: costes, calidad y plazos. En el sector de automoción dichos ajustes han sido siempre protagonistas de nuevos avances y grandes mejoras, a pesar del enorme esfuerzo que supone todo ajuste y adaptación.

En la presente parte, revisamos brevemente el ideario denominado *Douki Seisan*, en el entorno de Nissan, que condiciona y enmarca el desarrollo del proyecto; se describe también la problemática, el estado actual del sistema productivo objeto de estudio y el estado ideal que se desea alcanzar.

## 2 DOUKI SEISAN

### 2.1 Concepto

Una forma simple de expresar el estado ideal de los tres parámetros que consideramos clave (costes, calidad y plazos) es la siguiente:

- Minimizar los costes de fabricación, de materiales y de gestión.
- Conseguir el 100% de la calidad en todos los productos y componentes.
- Conseguir unos tiempos de respuesta a la demanda ajustados lo mejor posible a las fechas comprometidas.

*Douki Seisan* significa:

*“Estado de la Producción en el que todos los procesos, desde el primero hasta el último, reciben la información de los clientes (información de peticiones) al mismo tiempo, con el propósito de establecer un flujo continuo de producción, sin defectos y sin cambios en la secuencia”.*

Se postula que todos los procesos productivos pueden conocer simultáneamente la información de los clientes de forma avanzada a la producción, a partir de lo cual se deciden los volúmenes de producción, las especificaciones y la secuencia. Todos los procesos pueden empezar la preparación de la producción al mismo tiempo. El punto clave de esta idea consiste en producir cada uno de los componentes con alta calidad y sin cambiar la secuencia de producción.

Bajo el ideario *Douki Seisan*, la *situación ideal* se alcanza con los siguientes objetivos:

- Cero defectos en calidad
- Cero averías en las instalaciones.
- Tiempos mínimos en la preparación de las máquinas.
- Líneas de producción sin divergencias ni almacenamientos intermedios.
- Supresión de tareas administrativas en el proceso productivo.

## 2.2 Características y objetivos

Las dos principales características de *Douki Seisan* son:

- Fabricar los productos en el orden programado.
- Detectar los defectos en el sistema productivo.

En todas las etapas, la fabricación de los productos en el orden programado permite acercar la información del avance de producción a las solicitudes de los clientes; las operaciones se pueden realizar con menos stocks, reduciendo la holgura entre previsión y ejecución. Si además se llega al estado ideal de alcanzar la perfecta sincronización entre procesos, se pueden suprimir los stocks entre éstos.

El orden de producción (secuencia de unidades) debe basarse en el programa fijado y éste debe cumplirse. Con ello se pretende:

- Mantener el orden de entrada de los vehículos según el programa fijado.
- Fabricar, en todos los procesos, las partes de los vehículos de acuerdo al programa y el orden establecido.
- Procurar la ausencia de stocks entre los procesos.

Por otra parte, *Douki Seisan* exige revisar la consecución de la calidad en el propio proceso, descubriendo los defectos encubiertos por los stocks. La mejora continua es también una característica de *Douki Seisan*. La solución de un problema sirve de experiencia para la resolución de otros nuevos. La robustez del sistema de producción se incrementa mediante la acumulación de mejoras.

## 2.3 Categorías

El alcance del *Douki Seisan* se acostumbra a ordenar en 5 categorías. Las actividades de cada una de las categorías deben realizarse simultáneamente. Éstas son:

- *Categoría-1: Sobre la línea principal de vehículos: cumplimiento de la secuencia de producción basada en el programa real:*

Esta categoría incluye todos los procesos desde que se inicia el vehículo hasta que se termina, incluyendo soldadura, pintura, montaje y líneas finales. En esta categoría se pretende cumplir con los plazos establecidos y con la secuencia prefijada; ambos elementos son determinados a partir del programa real de producción de vehículos, influyendo de forma importante en el resto de categorías.

- *Categoría-2: Sobre los componentes producidos por la compañía: producción y suministro basados en el programa fijado :*

En esta categoría se considera la sincronización de la producción de vehículos en la línea principal y el suministro de todas las piezas de fabricación interna. Se pretende que en la fabricación interna haya un flujo continuo de artículos, de forma que la

producción de todos los artículos se efectúa en consonancia con la secuencia que se ha establecido en la línea principal.

- *Categoría-3: Sobre los proveedores: producción y suministro basados en el programa fijado:*

En esta categoría se consideran las actividades de sincronización de la línea principal de vehículos con las piezas de los proveedores. Estos procesos pretenden que tanto la producción como el suministro se realicen en sintonía con el programa fijado<sup>1</sup>.

- *Categoría-4: Sobre la logística de vehículos: entrega directa basada en el programa real de “off-line”:*

En esta categoría se consideran las actividades de sincronización de la logística de vehículos con la línea principal. Se pretende la ordenación de los camiones y los barcos para eliminar la acumulación de vehículos y acortar los plazos de entrega.

- *Categoría-5: Sobre producción y ventas: reducción del “lead time” de espera para la entrega de unidades a los clientes.*

El fin principal del *Douki Seisan* es la sincronización con el cliente. La categoría 5 busca la sincronización entre comercial y clientes; se busca la reducción del lead time total desde la recepción de la orden del pedido hasta la entrega del vehículo. Se busca la flexibilidad en producción para reducir el lead time total.

## **2.4 Puntos clave para la aplicación de Douki Seisan**

Para llevar a buen término la aplicación de Douki Seisan en toda su extensión es preciso tener en consideración las claves siguientes:

- *Fuerte liderazgo de la Alta Dirección.*

La aplicación de Douki Seisan implica la renovación total del sistema de fabricación, la cual sólo será posible por la firme confianza y un fuerte compromiso del liderazgo de la Alta Dirección.

- *Coexistencia de QCD mediante la búsqueda de las causas reales.*

En ciertas ocasiones pueden darse simultáneamente fenómenos contradictorios cuando se realiza una mejora. Por ejemplo, la reducción de stock puede deteriorar la productividad al aumentar el número de cambios de matrices; durante mucho tiempo, la tendencia era realizar las mejoras considerando que el coste de gestión del stock era insignificante y que su reducción no aportaba un beneficio sustancial; en la actualidad, las mejoras sobre sistema se pueden alejar de esta tendencia y centrarse en otros aspectos como la mejora tecnológica.

---

<sup>1</sup> El proyecto 02CN03 de la Càtedra Nissan está orientado a la aplicación de *Douki Seisan* en Categoría 3.

- *Búsqueda de la flexibilidad en la producción.*

El esquema de producir los artículos en el volumen compatible con el orden que se ha establecido es necesario para llevar a la práctica la idea “fabricar los productos en el orden programado”; para ello es imprescindible la flexibilidad en la producción en la línea, afectando al diseño del proceso, para poder absorber tanto fluctuaciones de la producción mensual como incrementos de producción ante la introducción de nuevos modelos.

- *Fabricación sin despilfarros y con flujo continuo de productos.*

Es importante eliminar los procesos que no añaden valor a los productos (intermedio o finales) o tienen un pequeño valor añadido para los clientes. Deben diseñarse líneas de producción simples y directas, evitando ramificaciones y confluencias.

- *Estabilización de la producción reforzando la fiabilidad de los procesos.*

La reducción de la fiabilidad de los procesos nos llevará directamente a problemas en el área de las ventas y con los clientes.

- *Refuerzo de la cooperación entre áreas.*

El poder corporativo real se muestra cuando la actividad de producción está bien coordinada con las áreas de ventas y desarrollo. En las actividades del Douki Seisan es necesario promocionar la sincronización con las áreas de ventas y desarrollo.

- *Mejorar la habilidad para encontrar soluciones y reforzar la capacidad de los Recursos Humanos.*

Para conseguir el estado ideal propuesto por Douki Seisan y ser capaces de encontrar soluciones rápidas y permanentes para los problemas es imprescindible mejorar las habilidades de las personas y de los grupos. También es necesario que cada miembro del grupo tenga la capacidad y las habilidades profesionales técnicas requeridas por los trabajos. Es muy importante que todos estos conocimientos y habilidades, cuando han dado frutos positivos, se pongan en práctica en todas las áreas.

## 2.5 Sistema de Índices

Se recogen aquí los principales índices relacionados con el seguimiento y control de producción:

- *Lead Time:* Periodo de producción, desde el proceso inicial hasta el proceso final para vehículos y componentes, que corresponde al número de días de producción que se pueden completar con los stocks disponibles<sup>2</sup>.

---

<sup>2</sup> En otros ámbitos, relacionados también con producción, el término *lead-time* se emplea para indicar “el tiempo que transcurre entre el inicio y la compleción de un proceso productivo”; también se emplea para nombrar “el tiempo que transcurre entre la detección de una necesidad, que genera una orden, y la

$$Lead.Time = \sum_{Procesos} \frac{\text{Stock disponible en el proceso}}{\text{Producción diaria requerida en el proceso}} \quad (1)$$

- *Scheduled Sequence Achievement Ratio (SSAR)*: Ratio de consecución de la secuencia programada. Muestra el porcentaje de vehículos que mantienen la secuencia programada respecto al total de vehículos bajo control.

$$SSAR(\%) = \frac{\text{Nro. de vehículos bajo control no adelantados}}{\text{Nro. total de vehículos bajo control}} * 100 \quad (2)$$

- *Scheduled Time Achievement Ratio (STAR)*: Ratio de consecución del horario programado. Muestra el porcentaje de vehículos que alcanzan el final del proceso en  $\pm 1$  hora del horario programado respecto al total de vehículos bajo control.

$$STAR(\%) = \frac{\text{Nro. de vehículos bajo control en horario programado}}{\text{Nro. total de vehículos bajo control}} * 100 \quad (3)$$

### 3 SITUACIÓN INICIAL

Desde el inicio de la fabricación del vehículo, cada parte del proceso siempre tiene un cliente posterior. El proceso de fabricación de todo vehículo, que se inicia con la fabricación de las piezas por los proveedores y la logística de entrega, prosigue con las fases de montaje y pruebas y termina con su entrega al cliente final. Todas las fases del Proceso están interrelacionadas de manera que un error en una de ellas afectará invariablemente a las siguientes.

Tradicionalmente, ha sido muy habitual que los productos requeridos en un proceso se puedan fabricar en cantidades distintas a las solicitadas, esto es, el lote de fabricación y/o el lote de transferencia no está forzado a responder a la secuencia de producción del proceso cliente o maestro. Por otra parte, los productos requeridos se pueden fabricar con antelación, a veces excesiva, al instante en que son necesarios (lo que conduce a un exceso de stock), o con antelación insuficiente para hacer frente a posibles urgencias (lo que puede conducir a roturas de stock).

De forma concreta, el proceso en NMISA (ver figura 1.1) presenta las siguientes características:

- La fabricación tiene su inicio en Carrocerías: las piezas se sueldan por conjuntos hasta completarlas y el suministro de piezas se realiza desde un almacén interno.

---

recepción de los bienes que cubren dicha necesidad”. En este texto, siguiendo la nominación dada en Nissan, el término *lead-time* se emplea para dar nombre a “el stock disponible, en todos los procesos del sistema referencia, medido en días\_de\_stock”.

- Las carrocerías se almacenan en un pulmón regulador intermedio con salida a Pintura.
- El subproceso de pintura ha de respetar la secuencia de salida de carrocerías.
- Las carrocerías pintadas se almacenan en un pulmón regulador intermedio con salida a Montaje.
- El subproceso de montaje ha de respetar la secuencia de salida de pintura. Los materiales requeridos se suministran sincrónicamente desde zonas de picking alimentadas, a su vez, por proveedores cuyos lotes no están en sintonía con la secuencia a respetar.
- La secuencia a respetar a lo largo del proceso productivo se determina teniendo en cuenta la satisfacción de una serie de restricciones de equilibrado y de capacidad productiva que afectan a las plantas de carrocerías, pintura y montaje.
- Para las tres plantas (Carrocerías, Pintura y Montaje) existe el suministro de piezas procedente de proveedores externos.
- Normalmente, el suministro de piezas no se realiza de manera sincrónica (salvo algunas excepciones de piezas muy voluminosas en carrocerías y pintura, y algunas referencias en montaje) en consonancia con la secuencia que se intenta respetar a lo largo de todo el proceso.
- Esta falta de sincronización obliga, tanto a NMISA como a sus PROVEEDORES, a disponer de sistemas de almacenamiento intermedio, así como a gestionar stocks de piezas y componentes con los consiguientes costes de adquisición, lanzamiento, posesión física e información.

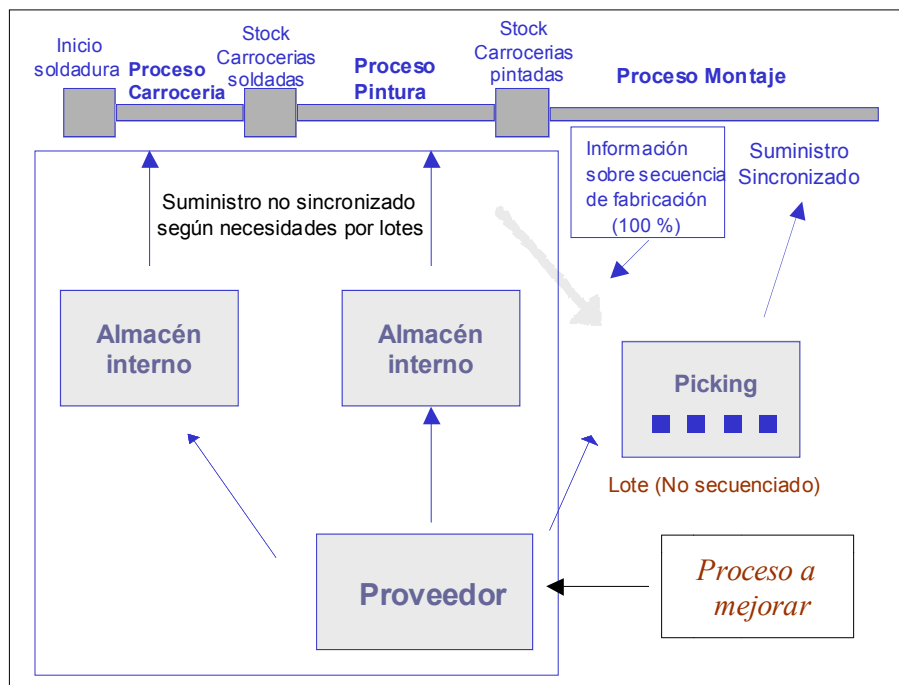


Figura 1.1: Esquema de la situación inicial (actual) del proceso productivo.

## 4 SITUACIÓN IDEAL

Se propone como lema para alcanzar la situación ideal:

*Fabricar los productos requeridos en los procesos anteriores en flujo en la cantidad requerida y en el momento preciso.*

La discrepancia entre estas dos situaciones (la real y la ideal) afecta a:

- Activos en Fábrica y en el Proveedor
- Costes logísticos y de almacenamiento
- Costes de gestión de la producción

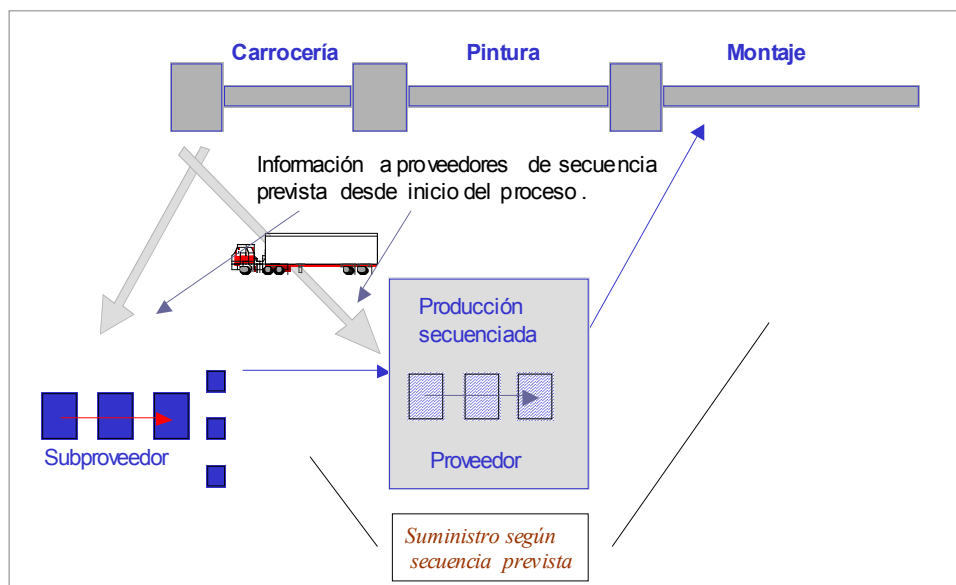


Figura 1.2: Esquema de la situación ideal del proceso productivo.

Un esquema de la situación ideal del proceso productivo se muestra en la figura 1.2, dicha situación debe presentar las siguientes características:

- La secuencia se debe respetar a lo largo de todo el proceso, desde la constitución del primer conjunto de carrocerías hasta la salida de línea de montaje. Esta exigencia es difícil de cumplir, por lo que es admisible que el nivel de cumplimiento de secuencia sea igual o mayor a 90 puntos (90%) del índice *SSAR*.
- Los proveedores, independientemente del punto de la línea en que concurren sus piezas, deben conocer la información sobre la secuencia de vehículos en firme con suficiente antelación.
- Los proveedores podrían fabricar sus piezas en consonancia con la secuencia en firme y ordenarlas en contenedores, quedando las piezas a punto para el consumo.
- El transporte a fábrica se realizaría en contenedores ordenados, con contenido de piezas también ordenado. De esta forma, los operarios de las líneas encontrarían las piezas necesarias en orden y en cada punto, sin necesidad de buscar la pieza apropiada en cada momento y lugar.





*Parte Segunda:*  
*El Proyecto*



## 5 PRELIMINARES

En el marco descrito en la Parte Primera se proponen dos proyectos:

- 01CN03: *Modelo de Simulación para la Gestión de la Complejidad de Fabricación.*
- 02CN03: *Modelo de Gestión para la Innovación de la Secuencia de Suministros.*

El proyecto 02CN03 parte de la base que las organizaciones industriales se basan normalmente en modelos preestablecidos. Se propone el desarrollo de un modelo de gestión para la secuencia de suministros que sea innovador, por lo que es necesario tener una visión organizativa de máximo nivel.

El modelo Máster de Secuencia de Fabricación y suministro a desarrollar debe ser útil para los proveedores seleccionados y debe contemplar todas las variantes necesarias para ser aplicado en función de la tipología y complejidad del producto en los distintos procesos: (1) Estampación y Soldadura; (2) Inyección y pintado; y (3) Montaje.

Esta Parte Segunda de la Memoria se dedica, en primer lugar, a definir los objetivos generales a los que debe darse apoyo a través de ambos proyectos (01CN03 y 02CN03); posteriormente, se discuten brevemente los posibles enfoques para el proyecto 02CN03; tras ello, y ya en relación exclusiva con el proyecto 02CN03, nos dedicamos a sus participantes, la planificación de tareas, la descripción de fases y a las actividades desarrolladas en el curso del mismo.

## 6 OBJETIVOS GENERALES

Ambos proyectos deben servir de apoyo para alcanzar los siguientes objetivos generales:

- Reducción del nivel de stock de piezas y componentes
- Liberación de espacios
- Reducción de costes logísticos
- Reducción de tiempos de recuperación
- Flexibilidad en la producción
- Lanzamiento de nuevos productos

Seguidamente, pasamos a comentar algunas ventajas derivadas de la consecución con éxito de dichos objetivos.

### *Sobre la reducción del nivel de stock de piezas y componentes*

En caso de adoptar a lo largo de todas las cadenas de suministro que fluyen hacia NMISA una política de fabricación sincronizada en sintonía con la secuencia en firme, los niveles medios de stocks se reducirán tanto en NMISA como en todos los Proveedores nivel a nivel. Esto repercutirá en una reducción de costes de posesión (almacenamiento, manipulación e información).

No obstante, la sincronización supone, normalmente, un incremento del número de lanzamientos en caso de que un proveedor emplee un mismo sistema productivo para

fabricar más de una pieza que requiera tiempo de preparación. Aunque la posibilidad de incrementar el número de lanzamientos supone ser más flexible, también supone una reducción del tiempo productivo, por lo que debe conseguirse un equilibrio entre los costes de lanzamiento y los de posesión (almacenamiento y manipulación).

#### *Sobre la liberación de espacios*

La reducción de los niveles medios de stock, resultado de la consecución del objetivo anterior, permitirá reducir los espacios destinados al almacenamiento en todas las cadenas de suministro que fluyen al sistema productivo cabeza o principal. Dicha liberación de espacios se puede emplear, obviamente con otras medidas adicionales, para aumentar la capacidad del sistema.

#### *Sobre la reducción de costes logísticos*

La liberación de espacios reduce los costes de alquiler de almacenes, si este es el caso, o permite que éstos se empleen para otros menesteres. La reducción de los niveles medios de stock, reduce los costes de transporte y manipulación de materiales y los de acondicionamiento de espacios.

#### *Sobre la reducción de tiempos de recuperación*

La sincronización bien llevada a la práctica reduce la probabilidad de rotura de stock, lo cual redundará en una reducción de tiempos de recuperación del producto por falta de materiales. Obviamente, además de procurar garantizar la disponibilidad de materiales para evitar la rotura, y con ello reducir a mínimos los tiempos de recuperación, la fabricación en todo su conjunto debe estar arropada por un alto nivel de calidad de todos los materiales.

#### *Sobre la flexibilidad en la producción*

Si los tamaños de lote son pequeños, los tiempos de proceso de éstos son más reducidos y es más fácil atender a cambios de última hora. La flexibilidad supone en muchas ocasiones incrementar el número de lanzamientos, lo cual supone un coste que hay que equilibrar con los de posesión.

#### *Sobre el lanzamiento de nuevos productos*

Se trata de una necesidad ligada a la innovación y a la propia evolución. El lanzamiento de nuevos productos requiere flexibilidad en el sistema productivo.

## **7 ENFOQUES. UNA BREVE DISCUSIÓN**

En el primer enfoque dado al proyecto se propuso tener contacto con un número elevado de Proveedores (del orden de 8); este hecho suponía las siguientes ventajas:

- Tener un amplio conocimiento del sector, tanto en las diferentes tecnologías implicadas en la fabricación de componentes de automoción, como en las distintas formas en que se puede organizar la producción.
- Llevar a cabo una amplia labor de campo, al tener la posibilidad de disponer de más datos de diferentes fuentes, que pueden estructurarse en una misma base común.
- Poner en contacto, aprovechando la oportunidad que da un nuevo proyecto, a distintos agentes (proveedores) del sector.

No obstante, dicho enfoque también presenta inconvenientes, entre ellos:

- Que las actividades y los recursos del proyecto se concentren en establecer una tipología de proveedores, cuando lo que realmente interesa es aprovechar las ventajas que ofrece la producción sincronizada.
- Que los esfuerzos se destinen mayormente a la recopilación de datos y de información en general, en lugar de centrarnos en lo conceptual e instrumental.
- Que el proyecto se centre en la forma actual de fabricar tanto de NMISA como de los Proveedores, en lugar de definir nuevas formas de fabricar que propicien la implantación de la fabricación sincronizada.
- Que los esfuerzos se centren en mejorar el sistema global (atendiendo a un elevado número de agentes), en lugar de tratar de innovar en los procesos (atendiendo a un reducido, pero significativo, número de agentes).
- Que parte de los recursos del proyecto se deban destinar a establecer el consenso entre proveedores en lugar de ayudarles a adaptarse, en la medida de lo posible, al enfoque de producción sincronizada.

En el enfoque actual, el número de proveedores se ha reducido a 3.

Por otra, en el enfoque inicial no se contemplaba la posibilidad de estudiar cuál era la mejor secuencia en firme (para  $t$  días de producción) para un criterio establecido y teniendo en cuenta una serie de restricciones productivas (equilibrado y capacidad), dicha secuencia se tomaba como dato de partida a partir de la propuesta de NMISA. Con el enfoque actual se pretende también estudiar diversas alternativas de secuencia en firme que contemplen tanto las restricciones y criterios establecidos por NMISA como las posibilidades que los Proveedores tienen para fabricar sincronizadamente. Consideramos que este es el punto fundamental, aunque tiene sus inconvenientes, entre ellos:

- Se requiere un estudio más profundo de las limitaciones que presentan los sistemas productivos, tanto de NMISA como de Proveedores, a la hora de proponer una producción sincronizada.
- Existe poca bibliografía especializada, en la literatura científica, para abordar los nuevos problemas.
- La formalización y la modelización de problemas es más compleja.
- Las técnicas de resolución, que posteriormente se deben implantar en herramientas informáticas prototipo para la gestión, tanto de NMISA como de Proveedores, son más sofisticadas.

- Los ensayos o pruebas de validación con el soft prototipo desarrollado son más laboriosos.

Aunque, el estudio de alternativas de secuencia, que contemplen tanto las restricciones y criterios establecidos por NMISA como la flexibilidad que los Proveedores tienen para fabricar sincronizadamente, también ofrece ventajas; entre ellas:

- Es más innovador, aunque más complejo.
- La tipología de los proveedores se concentra en la posibilidad de establecer el sincronismo y no en la tecnología que apliquen. Con ello, distinguiremos tres categorías:
  - (1) Proveedor que fabrica y suministra en sincro
  - (2) Proveedor que no fabrica, pero sí suministra en sincro
  - (3) Proveedor que no fabrica ni suministra en sincro.
- Es posible analizar con mayor rigor las causas que posibilitan una mayor concentración de proveedores en la categoría 1, así como dotar a las categorías 3 y 2 de herramientas que les permitan, en la medida de lo posible, el paso a categoría 1.
- La sincronización del sistema global se aborda de forma global, y no queda supeditada completamente a una secuencia en firme del sistema cabeza.
- Se contempla la posibilidad de encontrar puntos de equilibrio entre los costes de los Proveedores y los de NMISA derivados de la implantación del enfoque producción sincronizada.
- Se pueden establecer criterios equitativos a la hora de soportar costes entre los distintos agentes que participan en el sistema global sincronizado.
- Se propicia el establecimiento de una estrecha relación entre todos los agentes del sistema global.

## 8 PARTICIPANTES

### 8.1 Proveedores seleccionados

Atendiendo a las tres categorías definidas:

- *Categoría-1:* Proveedor que fabrica y suministra en sincro
- *Categoría-2:* Proveedor que no fabrica, pero sí suministra en sincro
- *Categoría-3:* Proveedor que no fabrica ni suministra en sincro.

Se seleccionan los proveedores: EISA, VISTEON y EMTISA.

#### *Sobre el Proveedor EISA*

Se trata de un proveedor, localizado en el Prat de Llobregat, que, actualmente, se encarga de la fabricación de asientos del HM y del ET.

Su proceso básico es el montaje de otros componentes suministrados por otros proveedores con distinta localización. Actualmente, tanto la fabricación como el

suministro de sus productos se realizan de manera sincrónica a las líneas de NMISA. Pertenece a la Categoría-1.

Este mismo proveedor está encargado de la fabricación de las variantes de asientos del nuevo modelo X61B.

#### *Sobre el Proveedor VISTEON*

Se trata de un proveedor que, actualmente, fabrica la consola central, el cluster C y la fin consola del ET, así como las contrapuertas del HM.

Desde un almacén en Zona Franca (alquilado al operador logístico ABX) se prepara el material y se suministra en sincro directamente a las líneas de NMISA, disponiendo de un stock de material que oscila entre 1.5 y 2 días y cuyas reposiciones se realizan por sistema kanban. Pertenece a la Categoría-2.

Dicho almacén se alimenta desde la planta de fabricación de componentes localizada en Igualada. La fabricación en Igualada se realiza por lotes.

#### *Sobre el Proveedor EMTISA*

Se trata de un proveedor, localizado en Sant Andreu de la Barca, que, actualmente, se encarga de la fabricación de las dos variantes del bastidor del ET.

Sus procesos básicos son la estampación, la soldadura y la pintura; y el producto resultante es laborioso y difícil de transportar. Actualmente, tanto la fabricación como el suministro de sus productos no se realizan de manera sincrónica. Pertenece a la Categoría-3.

Este mismo proveedor está encargado de la fabricación de las variantes del bastidor del nuevo modelo X61B.

## **8.2 Equipo NMISA-UPC**

Se establece un equipo pluridisciplinario compuesto por personal de NMISA y de la UPC.

Por parte de NMISA participan:

- JESÚS ESTEBAN, Jefe del Departamento de Gestión de Suministros, como Director del Proyecto por parte de Nissan.
- EVA BARGALLÓ, Jefe del Departamento de Control de Modificaciones, como Coordinadora con el Proveedor EMTISA.
- PIERRE JULIÁ, de Desarrollos de SLG de recogida de piezas, como Coordinador con el Proveedor EISA.
- VALÉRIE GAUTSCH, como Coordinadora con el Proveedor VISTEON.

Por parte de la UPC participan:

- JOAQUÍN BAUTISTA, catedrático de universidad del DOE - UPC, como responsable y director del Proyecto por parte de la UPC.



- JORDI PEREIRA, profesor colaborador del DOE-UPC, como personal soporte en el proyecto.
- JAIME CANO, estudiante de doctorado UPC, como becario soporte en el proyecto.
- ENRIC BRAU, RAÚL EL-FAKDI y CARLES OLIVELLA, estudiantes de proyecto final de carrera ETSEIB-UPC, como becarios soporte en el proyecto.

## 9 PLANIFICACIÓN DE TAREAS

Se establece la descomposición del Proyecto en tareas elementales, agrupadas en fases, y se asigna el responsable a cada una de ellas, tal como se muestra en la Tabla 2.1.

TAREAS ELEMENTALES	RESPONSABLE
<b>Contacto y seguimiento</b>	
- Definición de los equipos UPC y NMISA	UPC + NMISA
- Visitas tecnológicas	UPC + NMISA
- Reuniones de seguimiento	UPC + NMISA
- Informes mensuales al CIDEM	UPC
- Reuniones de revisión de proyecto (con la presencia del CIDEM)	UPC + NMISA
<b>Fase de análisis</b>	
- Análisis del funcionamiento de NMISA	UPC + NMISA
- Requerimientos de información a NMISA y proveedores	UPC
- Análisis del funcionamiento de Proveedores	UPC + NMISA
<b>Fase detección de oportunidades de mejora</b>	
- Detección de oportunidades de mejora enfocadas a DS3, y considerando el coste global (proveedor + NMISA)	UPC + NMISA
<b>Fase propuesta de soluciones</b>	
- Formalizar	UPC
- Modelizar	UPC
- Programar y validar	UPC
<b>Fase selección de soluciones</b>	(UPC + NMISA + Pr.)
<b>Fase documental</b>	
- Redacción final y documentación de memoria	UPC
- Presentar memoria de modelos y prototipos de soft (tentativo en las 3 tecnologías)	UPC + NMISA

Tabla 2.1: Fases, tareas elementales y su responsable del Proyecto 02CN03: *Modelo de Gestión para la Innovación de la Secuencia de Suministros*.

Por otra parte, en la Figura 2.1 se presenta el cronograma inicial vinculado al Proyecto, estableciéndose el inicio del mismo en la primera semana de febrero del 2004, y su finalización durante el mes de noviembre del mismo año.

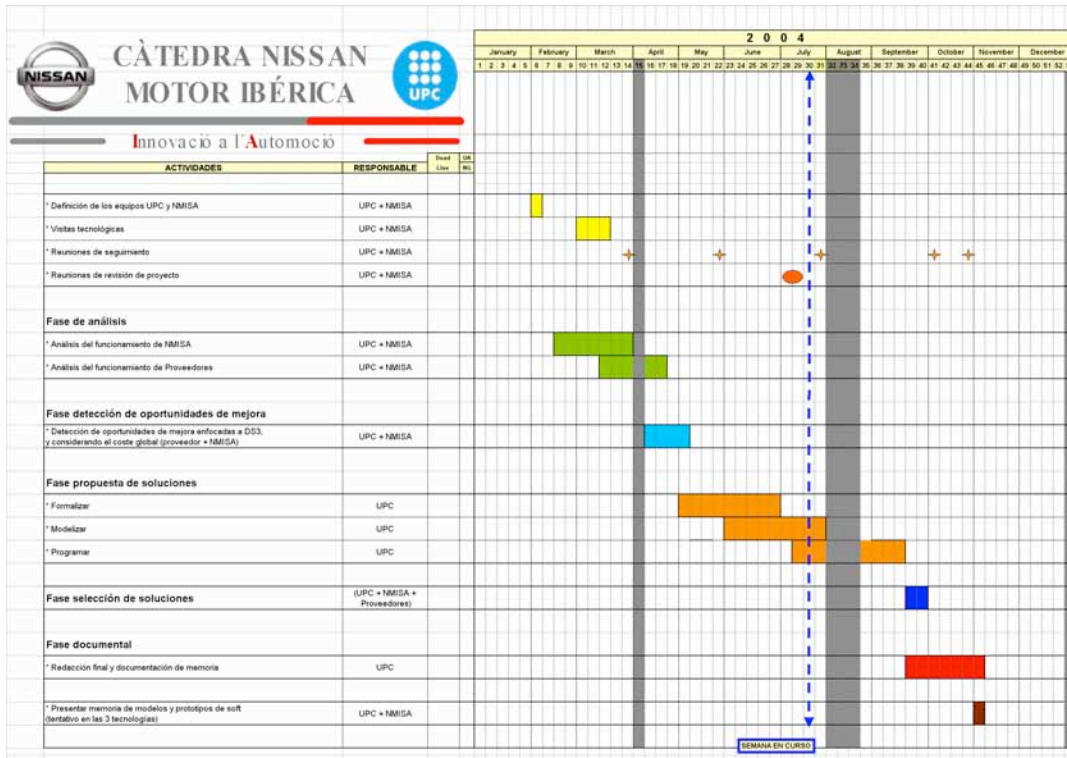


Figura 2.1: Cronograma inicial del Proyecto 02CN03: *Modelo de Gestión para la Innovación de la Secuencia de Suministros*.

## 10 FASES DEL PROYECTO

Distinguiremos 3 fases, a saber:

- Fase de análisis.
- Fase de detección de oportunidades de mejora.
- Fase de propuesta de soluciones.

## 10.1 Fase de análisis

La fase de análisis tiene por objeto la familiarización con la tecnología y gestión del sistema principal, NMISA, y de los Proveedores seleccionados.

Se realizan 7 visitas a la planta de NMISA que permiten conocer el funcionamiento de:

- Líneas de Trim, Pintura y Body de tres productos.
- Logística interna de almacenes y zonas de picking sincro.
- Proveedor interno (parachoques)

Por otra parte, se realizan 6 visitas a las instalaciones de los proveedores externos seleccionados:

- Categoría 1: suministro y fabricación sincro (EISA)
- Categoría 2: suministro sincro y fabricación lotificados (VISTEON)

- Categoría 3: suministro y fabricación lotificados (EMTISA)

Dichas visitas, además de haber servido para asimilar la tecnología y la gestión de diversos elementos del sistema productivo, han sido útiles para detectar una serie de oportunidades de mejora.

## **10.2 Fase de detección de oportunidades de mejora**

Las visitas realizadas a NMISA han permitido detectar una problemática susceptible de ser tratada académicamente en el marco de los métodos cuantitativos de organización industrial; concretamente:

- Equilibrado de líneas con mix variable y limitaciones de espacios con el propósito de propiciar la fabricación sincronizada.
- Gestión del WBS con el propósito de mantener secuencia ideal sincrónica.
- Gestión del PBS con el propósito de mantener secuencia ideal sincrónica.
- Flexibilizar P1 para HM y P2 para X83 con el propósito de propiciar la fabricación sincronizada.
- Programar la secuencia de entrada a pintura, así como la separación de ET's hacia P1 y P2, de manera que la confluencia de ET's a la salida de pintura esté en consonancia con la secuencia ideal sincrónica.
- Reducir tamaños de lotes (espacios) extendiendo el plazo de rigidez en planes y en secuencia ideal sincrónica.
- Asignación de unidades a canales de PBS con el propósito de reconstruir (a salida de pintura) la secuencia ideal sincrónica (hacia Trim).

Por su parte, las visitas realizadas a los Proveedores seleccionados han permitido detectar posibles oportunidades de mejora en:

- Disponer de la secuencia ideal sincrónica con mayor antelación.
- Lotificar considerando preparación y secuencia ideal sincrónica.
- Equilibrar líneas propiciando la fabricación sincronizada.
- Beneficios sobre el nivel de stocks derivados de fabricación sincronizada.
- Localizar almacenes reguladores en sintonía con fabricación sincronizada.
- Lotificar en transferencia teniendo en cuenta limitaciones de transporte y en sintonía con fabricación sincronizada.
- Estudio niveles de stock en planta y en almacén regulador en sintonía con fabricación sincronizada.
- Equilibrar líneas minimizando movimientos de los elementos y utillajes ante alteraciones de secuencia ideal sincrónica.
- Estudio sobre la gestión de piezas de recambio.
- Impacto de la cercanía de proveedores sobre la fabricación sincronizada.

De todas ellas, se hace una primera selección, siendo todos los participantes conscientes de que los avances y los resultados prácticos derivados del estudio de dicha selección estarán supeditados a la disponibilidad de los datos que ésta requiera. En tal situación, el lanzamiento de un nuevo producto al mercado, se propone ofrecer instrumentos para abordar los problemas derivados de las siguientes oportunidades de mejora en los Proveedores:

- *Propuesta 1:* Partiendo de la demanda, las tasas de producción, los tiempos de cambio y de reacción, determinar los lotes de fabricación que permiten alcanzar el mayor grado de sincronización.
- *Propuesta 2:* Partiendo de la demanda y las limitaciones de transporte desde planta hasta almacén regulador, determinar los lotes de transferencia (tamaño y periodicidad) que permiten alcanzar el mayor grado de sincronización.
- *Propuesta 3:* Partiendo de la demanda y las limitaciones de transporte desde almacén regulador hasta cliente, determinar los lotes de transferencia (tamaño y periodicidad) que permiten alcanzar el mayor grado de sincronización.
- *Propuesta 4:* Estudio de los niveles de stock en planta de fabricación y en almacén regulador en función del grado de sincronización.

### 10.3 Fase de propuestas de soluciones

#### MODELO CONCEPTUAL

Se establece la relación elemental entre dos sistemas: (1) el que denominaremos *Sistema principal* o *Main* y notaremos con  $M$  y (2) el que denominaremos *Sistema proveedor* o *Supplier* y notaremos con  $S$ .

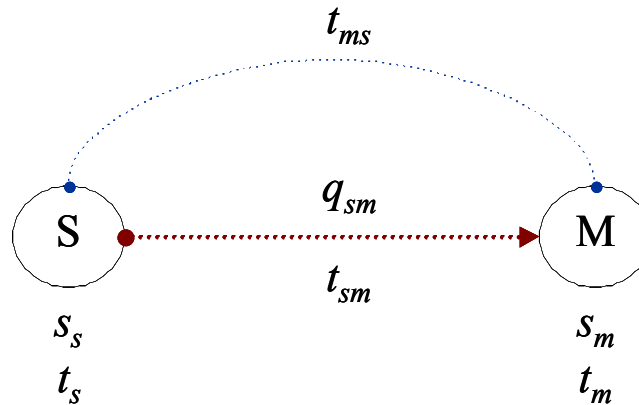


Figura 2.2: Modelo conceptual. Relación elemental M-S.

En la Figura 2.2 se muestra dicha relación; en ella se emplea la siguiente notación:

- $S_m$  : Secuencia de unidades en el sistema principal.
- $S_s$  : Secuencia de unidades en el sistema proveedor.
- $t_m$  : Sistema de tiempos en el sistema principal, que incluye los tiempos de ciclo, los de proceso y los de preparación.

- $t_s$  : Sistema de tiempos en el sistema proveedor, que incluye los tiempos de ciclo, los de proceso y los de preparación.
- $t_{sm}$  : Sistema de tiempos de transferencia de las unidades desde el sistema proveedor hasta el sistema principal.
- $t_{ms}$  : Tiempo de reacción del sistema proveedor: tiempo de antelación con el que el sistema principal informa al sistema proveedor sobre el contenido y orden las la secuencia  $S_m$ .
- $q_{sm}$  : Sistema de lotes de transferencia de unidades desde el sistema proveedor hasta el sistema principal.

A partir de un conjunto de modelos de relación elemental M-S se puede constituir un modelo de relaciones entre sistemas encadenado tal como se muestra en la Figura 2.3.

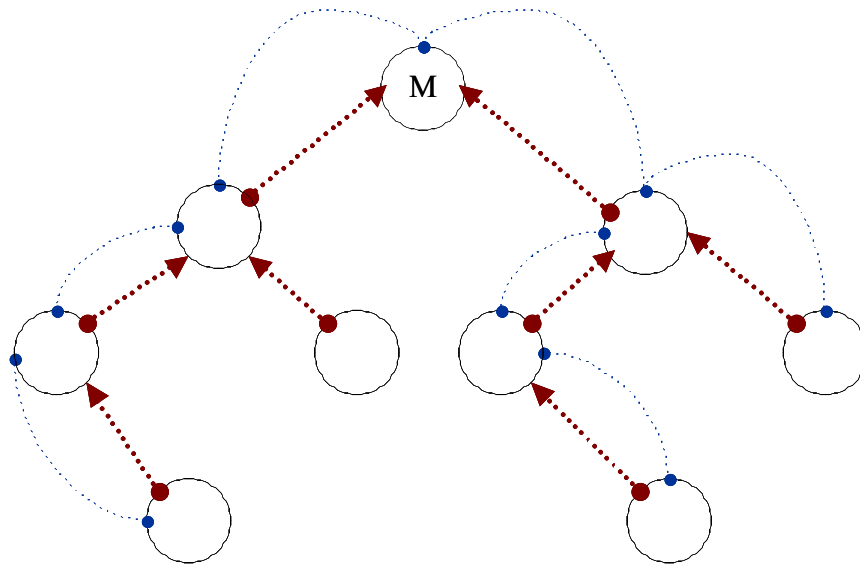


Figura 2.3: Modelo conceptual. Sistema encadenado por relaciones elementales M-S.

#### FORMALIZACIÓN DE PROBLEMAS

En consonancia con las oportunidades de mejora seleccionadas, se formalizan los siguientes problemas:

- *Problema 0:* Dada la BOM de un sistema y un plan de producción, determinar la *secuencia ideal* de productos finales que maximiza la *regularidad* en el consumo de sus componentes.
- *Problema 1:* Dada una secuencia  $S_m$ , una secuencia  $S_s$  y el resto de atributos individuales y comunes de  $M$  y  $S$ , determinar el *grado de sincronización* existente entre ambas secuencias y los niveles de stock necesarios para alcanzar un plan de producción.
- *Problema 2:* Dada una secuencia  $S_m$ , determinar una secuencia  $S_s$  que maximice el *grado de sincronización* existente entre ambas secuencias y los niveles de stock necesarios para alcanzar un plan de producción.

- *Problema 3:* Dado un plan de producción, determinar una secuencia  $Sm$  que minimice el *valor del stock medio* en el sistema encadenado objeto de estudio para un *grado de sincronización* preestablecido y alcanzable.

El problema 3 queda fuera del alcance de este estudio ya que la secuencia de NMISA viene impuesta.

#### INSTRUMENTOS BÁSICOS DEL MODELO

Establecemos las definiciones siguientes:

- *Fabricación regular:* Modalidad de fabricación cuyo propósito es *mantener constante las tasas* de producción o transformación y consumo en los procesos implicados.
- *Fabricación sincronizada:* Modalidad de fabricación cuyo propósito es *evitar las esperas y los retrasos innecesarios* del material (unidad a unidad o lote a lote) entre el instante inicio de su producción o transformación y el instante de inicio de su consumo.
- *Factibilidad de sincronización:* Sistema de *condiciones necesarias* que hacen posible la fabricación sincronizada.
- *Grado de sincronización:* Sistema de *indicadores* que permiten evaluar la calidad del sincronismo en fabricación.

Una de las bases de partida del presente Proyecto es que la fabricación regular propicia la fabricación sincronizada.

##### *a. Sobre la fabricación Regular-Sincronizada*

En este marco se estudia la obtención de secuencias de unidades, en el sistema definido como principal, que favorezcan y generen un consumo de componentes por parte de dichas unidades que sea lo más regular posible.

Una forma usual de medir la regularidad de una secuencia del sistema elegido como principal<sup>3</sup> es la efectuada a través de un *índice de irregularidad*,  $SDQ$ , definido como la suma de discrepancias cuadráticas, extendida a todas las unidades del sistema principal y a todos los componentes participantes, entre el consumo real de cada componente, ciclo a ciclo, y el consumo ideal de cada componente, ciclo a ciclo, que se corresponde con un consumo a ritmo constante:

$$SDQ = \sum_{\text{Ciclos}} \sum_{\text{Componentes}} (\text{Consumo real de componente} - \text{Consumo ideal de componente})^2 \quad (4)$$

---

<sup>3</sup> Puede consultarse: J.BAUTISTA (1993) *Procedimientos heurísticos y exactos para la secuenciación en sistemas productivos de unidades homogéneas. Contexto JIT*. Tesis doctoral UPC.

La fabricación sincronizada exige además que el consumo ideal de componente esté en consonancia con la demanda de componentes, ciclo a ciclo, generada por las unidades que se secuencian, ciclo a ciclo, en el sistema definido como principal.

*b. Sobre la Factibilidad de sincronización*

La sincronización en un sistema  $M$ - $S$  no siempre es posible. Se deben satisfacer una serie de condiciones necesarias para que tenga sentido intentar el sincronismo entre ambos sistemas.

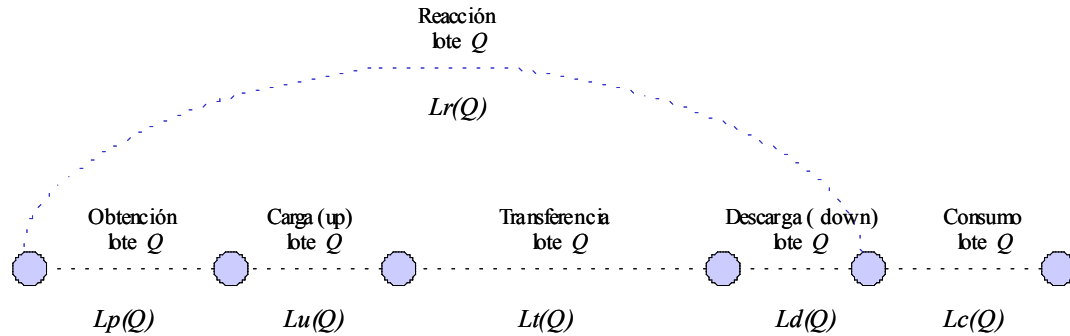


Figura 2.4: Esquema de plazos en el suministro  $M$ - $S$ .

En la Figura 2.4 se presenta un esquema de plazos para las actividades relacionadas con el suministro de materiales en el sistema  $M$ - $S$ . la notación empleada se corresponde con:

- $Q$  Lote de consumo. Fragmento de secuencia de unidades del proveedor que son requeridas por el fragmento de secuencia de unidades del maestro.
- $Lp(Q)$  Plazo de obtención del lote  $Q$ . Intervalo de tiempo necesario para fabricar el lote  $Q$ . Comprende los tiempos de proceso de las unidades, los tiempos de preparación y los tiempos de cambio de tipo, por lo que depende del orden en que se secuencian las unidades.
- $Lu(Q)$  Plazo de carga del lote  $Q$ . Intervalo de tiempo que transcurre entre el instante en que se dispone de todas las unidades del lote  $Q$  y el instante en el que puede iniciarse su transferencia.
- $Lt(Q)$  Plazo de transferencia del lote  $Q$ . Intervalo de tiempo que transcurre entre el instante en que se inicia la transferencia de todas las unidades del lote  $Q$  y el instante en el que puede iniciarse su descarga.
- $Ld(Q)$  Plazo de descarga del lote  $Q$ . Intervalo de tiempo que transcurre entre el instante en que se inicia la descarga del lote  $Q$  y el instante en el que está disponible en el punto de consumo.
- $Lc(Q)$  Plazo de consumo del lote  $Q$ . Intervalo de tiempo que transcurre entre el instante en que inicia el consumo de la primera unidad de  $Q$  y el instante en que se consume su última unidad.
- $Lr(Q)$  Plazo de reacción de  $S$  para suministrar el lote  $Q$  a  $M$ . Antelación con la que  $M$  suministra a  $S$  toda la información sobre  $Q$ .

Proponemos, también, la siguiente notación adicional:

- $Cp(Q)$  Ciclo de obtención del lote  $Q$ . Intervalo mínimo de tiempo que transcurre entre las obtenciones de dos lotes consecutivos de  $Q$  en régimen permanente.
- $Tu(Q)$  Tiempo de carga en parada del lote  $Q$ . Tiempo durante el cual la unidad de transporte se mantiene parada para que se lleve a cabo la carga de  $Q$ .
- $Cu(Q)$  Ciclo de carga del lote  $Q$ . Intervalo mínimo de tiempo que transcurre entre las cargas, en parada, de dos lotes consecutivos de  $Q$  en régimen permanente.
- $Ct(Q)$  Ciclo de transferencia del lote  $Q$ . Intervalo mínimo de tiempo que transcurre entre las transferencias de dos lotes consecutivos de  $Q$  en régimen permanente.
- $Td(Q)$  Tiempo de descarga en parada del lote  $Q$ . Tiempo durante el cual la unidad de transporte se mantiene parada para que se lleve a cabo la descarga de  $Q$ .
- $Cd(Q)$  Ciclo de descarga del lote  $Q$ . Intervalo mínimo de tiempo que transcurre entre las descargas, en parada, de dos lotes consecutivos de  $Q$  en régimen permanente.

Apoyándonos en lo anterior, podemos establecer las siguientes condiciones necesarias que son evidentes para alcanzar el suministro sincrónico de  $Q$  (CNS):

CNS 1: El ciclo de obtención  $Q$  debe ser menor o igual al ciclo de carga de  $Q$ .

$$Cp(Q) \leq Cu(Q) \quad (5)$$

CNS 2: El tiempo de carga en parada de  $Q$  debe ser menor o igual al su ciclo de carga de  $Q$ .

$$Tu(Q) \leq Cu(Q) \quad (6)$$

CNS 3: El ciclo de carga de  $Q$  debe ser igual al ciclo de transferencia de  $Q$ .

$$Cu(Q) = Ct(Q) \quad (7)$$

CNS 4: El tiempo de descarga en parada de  $Q$  debe ser menor o igual al ciclo de descarga de  $Q$ .

$$Td(Q) \leq Cd(Q) \quad (8)$$

CNS 5: El ciclo de transferencia de  $Q$  debe ser igual al ciclo de descarga de  $Q$ .

$$Ct(Q) = Cd(Q) \quad (9)$$

CNS 6: El ciclo de descarga de  $Q$  debe ser menor o igual al plazo de consumo de  $Q$ .

$$Cd(Q) \leq Lc(Q) \quad (10)$$

CNS 7: La suma de plazos desde el de carga hasta el de descarga de  $Q$  (inclusivos) debe ser menor o igual al plazo de reacción de  $S$  para suministrar  $Q$ .

$$Lu(Q) + Lt(Q) + Ld(Q) \leq Lr(Q) \quad (11)$$



**CNS 8:** Las unidades de transferencia o transporte<sup>4</sup>,  $Ut(Q)$ , se relacionan con los tiempos de carga y descarga en parada, y el plazo y ciclo de transferencia así:

$$[(Tu(Q) + 2 \cdot Lt(Q) + Td(Q)) / Ct(Q)]^+ \leq Ut(Q) \quad (12)$$

Además de las condiciones anteriores relativas al suministro sincronizado, para que sea posible la fabricación sincronizada se debe cumplir la siguiente condición necesaria en fabricación (**CNF**):

**CNF 1:** La suma de plazos desde el de obtención hasta el de descarga de  $Q$  (inclusivos) debe ser menor o igual al plazo de reacción de  $S$  para suministrar  $Q$ .

$$Lp(Q) + Lu(Q) + Lt(Q) + Ld(Q) \leq Lr(Q) \quad (13)$$

### c. Sobre el Grado de sincronización

Obviamente, no siempre se darán las condiciones necesarias (5) a (13), por lo que la sincronización no será posible. En esta situación es conveniente medir el grado en que dos secuencias (una ideal y otra real) se aproximan al sincronismo.

Para ello definimos los indicadores siguientes:

- **Scheduled Sequence Achievement Ratio Extended (SSARX):** Porcentaje de piezas no adelantadas por las contenidas en lotes anteriores respecto al total de piezas bajo control (ver ejemplo en Figura 2.5).

$$SSARX(\%) = \frac{\text{Nro. de piezas bajo control no adelantadas por piezas en lotes anteriores}}{\text{Nro. total de piezas bajo control}} * 100 \quad (14)$$

SSAR	-	-	-	-	-	-	-	2/8	25%
	4	3	2	1	8	7	6	5	
SSARX								8/8	100%

SSAR	-	-	-	-	-	-	-	2/8	25%
	6	3	2	1	4	8	5	7	
SSARX					-	-		6/8	75%

Figura 2.5: Ejemplos del SSAR y SSARX para dos secuencias de 8 unidades agrupadas en dos lotes de 4 unidades cada uno. La secuencia de referencia para ambas es 1-2-3-4-5-6-7-8.

- **Scheduled Time Achievement Ratio Extended (STARX):** Porcentaje de piezas que alcanzan el final del proceso en [-1] hora del horario programado para la conclusión de su lote, respecto al total de piezas bajo control.

<sup>4</sup> Se supone, para simplificar, una velocidad de transferencia constante.

$$STARX(\%) = \frac{\text{Nro. de piezas bajo control en horario programado para concluir su lote}}{\text{Nro. total de piezas bajo control}} * 100 \quad (15)$$

Se empleará también la definición de *Lead Time* dada en (1).

## 11 RESUMEN DE ACTIVIDADES DESARROLLADAS

En el curso del Proyecto se han desarrollado una serie de actividades que clasificamos aquí en cuatro categorías:

- Visitas tecnológicas
- Reuniones
- Elaboración de informes de seguimiento
- Desarrollo de una aplicación informática
- Actividades académicas

### 11.1 Visitas tecnológicas

NMISA: BODY +TRIM&CHASIS DE X83 Y DE TINO (VISITA: 26/02/04).

Sobre las líneas de Body (carrocerías): Una línea con origen común para ET y HM con bifurcación posterior en dos sublíneas especializadas (Body metal) y convergencia posterior en WBS común anterior a Pintura. Y otra línea especializada para la X83 que desemboca en WBS especializado.

Sobre las líneas de Trim (vestido): Una línea especializada para la X83 alimentada por PBS-2: pulmón compartido con ET. Y una línea especializada para HM alimentada por PBS-1: pulmón especializado para HM.

En la visita se detectaron las siguientes oportunidades de mejora local: (1) equilibrado de líneas teniendo en cuenta variaciones en el mix de producción y limitaciones en disponibilidad de espacios; (2) gestión del WBS con el propósito de mantener secuencia ideal. También se detectaron las siguientes oportunidades de mejorar global: (1) la gestión de WBS's (ET-HM y X83) conjunta con el propósito de favorecer el trabajo a Pintura; y (2) gestión de PBS's (HM y ET-X83) conjunta con el propósito de reducir al mínimo la distorsión de la secuencia ideal.

NMISA: PINTURA P1 Y P2 (VISITA: 3/03/2004)

Se distinguen dos plantas de pintura: P1 y P2. La entrada a pintura es común para las unidades de ET, HM y X83. Posteriormente, se bifurcan ET y X83 hacia la planta P1, y ET y HM hacia la planta P2. Se detectaron limitaciones locales: X83 no puede pasar por P2 por sus dimensiones, y P1 no dispone de toda la gama de colores de HM.

La salida de las unidades de P1 y P2 convergen en un sistema de transporte que desemboca en PBS-1 (para HM) y PBS-2 (para ET y X83). Se detectaron limitaciones locales: las unidades de ET pueden proceder de dos orígenes (P1 y P2) por lo que es

poco probable que se pueda mantener la secuencia ideal al hacer converger las unidades procedentes de ambas ramas.

En la visita se detectaron las siguientes oportunidades de mejora local: (1) analizar la posibilidad tecnológica de flexibilizar P1 para HM y P2 para X83; (2) analizar la posibilidad de programar la secuencia de entrada a pintura, así como la separación de ET's hacia P1 y P2, de manera que la confluencia de ET's a la salida de pintura esté en consonancia (dentro de lo posible) con la secuencia ideal. También se detectó la posibilidad de mejora global asociada a la gestión conjunta de los WBS's (ET-HM y X83), de la separación de ET's hacia P1 (%ET-X83) y P2 (%ET-HM), y de los PBS's (HM y ET-X83) con el propósito de reducir al mínimo la distorsión de la secuencia ideal.

NMISA: VARIOS (VISITA: 10/03/2004)

Presentación sobre el funcionamiento del suministro sincro-interno, así como el alimento a estaciones por lotes y exposición sobre la formación de personal para la ejecución de operaciones y sobre algunos métodos relacionados con el control de calidad. Se visitan tres puntos de la planta: (1) orillas de estaciones de la línea de Trim X83 para observar in-situ el suministro en sincro y por lotes; (2) orillas de estaciones de la línea de Body X83 para observar in-situ el suministro en sincro y por lotes; y (3) C.P.O. (almacén externo) de entrada de materiales para observar su traza, hasta líneas, desde el origen de aceptación de material.

Aquí las oportunidades de mejora detectadas se vinculan a la reducción del tamaño de lotes y, consecuentemente, a la reducción de espacios requeridos; para ello es necesario alargar los plazos de rigidez tanto de los planes de producción como los de los programas de secuencia en firme, en la medida de lo posible.

VISTEON (VISITA: 11/03/2004)

(Ver descripción en apartado 8.1 sobre Proveedores seleccionados). En la visita se detectaron las siguientes oportunidades de mejora global: (1) de cara a la fabricación de los componentes del nuevo modelo X61B debe estudiarse la posibilidad de fabricar con tendencia al sincro; Para ello, deben considerarse dos factores: (a) teniendo en cuenta la relativa lejanía de la planta de fabricación del proveedor, es preciso que éste disponga de información sobre la secuencia en firme con mayor antelación que en la actualidad, y (b) dados los elevados tiempos de cambio requeridos por algunos componentes que emplean la inyección como tecnología, es preciso estudiar el equilibrio entre tiempos de preparación y de fabricación hasta obtener el tamaño adecuado de los lotes; (2) equilibrado de líneas teniendo en cuenta la introducción de nuevos productos con diversas variantes.

EMTISA (VISITA: 15/03/2004)

(Ver descripción en apartado 8.1 sobre Proveedores seleccionados). En la visita se detectaron las siguientes oportunidades de mejora global: (1) equilibrado de líneas considerando el nuevo modelo X61B; (2) estudio sobre los lotes de fabricación

atendiendo a las demandas de las variantes del nuevo modelo, las tasas de producción y los tiempos de cambio de una a otra variante; (3) estudio de la conveniencia, o no, de fabricar sincrónicamente, y en caso negativo, estudio sobre la localización de un posible almacén regulador; (4) estudio sobre los lotes de transferencia y su periodicidad desde planta de fabricación hasta almacén regulador, si es el caso, teniendo en cuenta las limitaciones de transporte; (5) estudio sobre los niveles de stock tanto en planta de fabricación como en almacén regulador, si es el caso.

EISA (VISITA: 17/03/2004)

(Ver descripción en apartado 8.1 sobre Proveedores seleccionados). En la visita se detectaron las siguientes oportunidades de mejora global: (1) equilibrado de líneas considerando las variantes del componente asiento del nuevo modelo X61B y teniendo en cuenta la minimización de movimientos de los elementos y utillajes, dedicados al material, que deben albergarse a orillas de la línea, ante cambios súbitos de la demanda; (2) estudio sobre la gestión de piezas de recambio; (3) estudio sobre la conveniencia de contar con proveedores territorialmente más cercanos con el propósito de aumentar la fiabilidad tanto en fabricación como en el suministro.

NMISA: CCR Y PBS (VISITA: 24/03/2004)

Se centra la visita en el control de flujo (desde salida de Pintura) y en la gestión de PBS's. Tras ver la zona de control se procede a la visita *in-situ* de PBS-1 (para HM) y PBS-2 (para ET y X83).

Aquí las oportunidades de mejora detectadas se vinculan al estudio de la asignación de unidades a canales de PBS con el propósito de reconstruir, a partir de las secuencias procedentes de Pintura, en la medida de lo posible y con el número mínimo de movimientos, la secuencia ideal que debe fluir hacia las líneas de Trim.

NMISA: PICKING BASTIDORES ET (VISITA: 01/04/04).

Se realiza una visita a la zona de almacenamiento de bastidores del ET en la planta, donde se lleva a cabo el picking para el sincro de la línea Trim-Chasis.

Aquí se plantea un estudio sobre el transporte de bastidores desde EMTISA hasta NMISA y sobre la gestión de stocks contemplando la posibilidad de disponer de un almacén regulador.

NMISA: PARACHOQUES (VISITA: 26/04/04).

Se realiza una visita a través de la planta de inyección y pintado de parachoques de NMISA, un ejemplo de Douki Seisan. El orden en el que se desarrolla dicha visita es: (1) Inyección; (2) Pintura; (3) Preparación de submontajes; (4) Preparación Sincro.

EMTISA-TALLER DE TRABAJO (27/05/2004).

Taller de trabajo EMTISA - Equipo\_UPC con el propósito de obtener datos sobre el X61B en relación a: (1) Línea principal, (2) Estampación, (3) Soldadura, (4) Pintura, y (5) Expediciones.

#### NMISA: TRIM & CHASIS DE ET (23/06/2004)

Se visita la línea de Trim del Terrano con el propósito de hacer el seguimiento del bastidor desde picking (inicio), transporte aéreo hasta la sublínea de motrices, posterior volteo del bastidor y ensamblaje a la carrocería y resto de montaje. Se detecta in-situ el problema relacionado con el establecimiento de secuencias regulares orientadas a minimizar tanto la sobrecarga de trabajo en las estaciones como el trabajo global perdido. Se observa desde un punto de vista práctico el concepto de ventana temporal vinculada a una estación.

#### EISA (30/06/2004)

Toma de contacto con la planta de EISA enfocada a conocer el futuro lay-out de las líneas dedicadas a los componentes del X61B. Se detectan tres familias de conjuntos de asientos: SUV (3 filas), Crew cabin (2 filas) y King cabin (2 filas). El sistema productivo estará compuesto por dos líneas, una para delanteros y otra para la segunda hilera del SUV, y varias células donde se fabricará el resto de componentes.

#### EMTISA (10/09/2004)

La visita tiene por objeto la obtención de datos sobre aspectos vinculados con la producción y logística del bastidor del X61B. Además, se muestra al proveedor el funcionamiento de la aplicación informática desarrollada por el equipo UPC, enfocando esta presentación al tratamiento del producto bastidor y sus componentes (Figura 2.6).

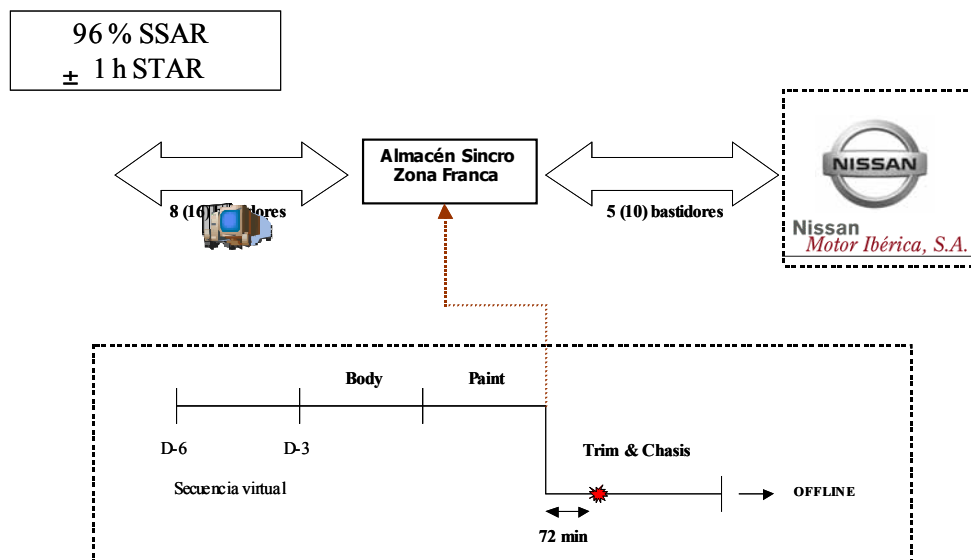


Figura 2.6: Esquema relativo a la logística de bastidores. Se dispone de un almacén regulador entre EMTISA y NMISA. El plazo de reacción es de 72 minutos.

Se obtiene la siguiente información: (1) los bastidores se llevarán de EMTISA a un almacén regulador de Zona Franca (a medio kilómetro de NMISA, aproximadamente) en un medio de transporte con capacidad para dos contenedores de bastidores; (2) un

contenedor de bastidores que se emite desde EMTISA tiene una capacidad de 8 unidades; (3) desde el almacén regulador hasta NMISA se emplearán contenedores de bastidor con capacidad para 5 unidades cada uno; (4) está por definir el medio de transporte, y su capacidad, que se encargará de mantener el flujo de bastidores entre el almacén regulador y NMISA; (5) el tiempo de reacción entre almacén regulador y NISSAN es de 72 minutos: en 72 minutos se debe hacer el picking de carga y realizar el transporte del contenedor (es) hasta el punto de demanda.; (6) se obtiene la versión 12 de la BOM y la pirámide de producción; y (7) no está disponible el resto de datos sobre plazos, ciclos y tiempos.

## 11.2 Reuniones

Se han mantenido reuniones de tres tipos: (S) seguimiento, (I) internas del equipo UPC y (P) entre los equipos de ambos proyectos; en la tabla 2.2 se el número de ellas entre enero y noviembre del 2004.

	(S)	(I)	(P)
Enero	1	-	-
Febrero	2	-	-
Marzo	1	3	-
Abril	2	-	-
Mayo	-	3	-
Junio	2	3	1
Julio-Agosto	2	3	-
Septiembre	-	3	-
Octubre	1	5	-
Noviembre	1	1	-
<b>Total:</b>	<b>12</b>	<b>21</b>	<b>1</b>

Tabla 2.2: Reuniones entre enero y noviembre de 2004 en el curso del proyecto 02CN03.

## 11.3 Informes de seguimiento

Se han elaborado, desde enero hasta octubre de 2004, 8 informes de seguimiento con el objeto de detallar, a cadencia mensual, las actividades realizadas. En el Inf-00, emitido en febrero, se revisa el alcance del proyecto; los informes Inf-01 a Inf-07, emitidos desde marzo hasta octubre, son rutinarios y dedicados a las tareas desarrolladas, en desarrollo o propuestas, y a la descripción de las oportunidades de mejora detectadas y su tratamiento.

## 11.4 Desarrollo de una aplicación informática

A lo largo del Proyecto se ha desarrollado una aplicación informática<sup>5</sup> cuyo objeto es servir de ayuda a la toma de decisiones relacionadas con los problemas de fabricación regular-sincronizada.

<sup>5</sup> Pueden consultarse el Manual de Usuario y la Memoria técnica de Aplicación.

En su estado actual, la aplicación contempla, entre otras, las siguientes prestaciones:

- Integración de una BOM procedente de cualquier proceso del sistema encadenado. Se han construido dos versiones: (1) Bastidores de EMTISA, y (2) Parachosques de NMISA.
- Determinación de la matriz de cantidades por tipo, para todos los niveles, a partir de la matriz de enlaces simples derivada de una BOM.
- Determinación automática de la secuencia de unidades de un programa del sistema principal bajo el criterio de hacer constantes la tasas de consumo de todos los componentes que intervienen en el cálculo.
- Introducción, por parte del usuario, de una secuencia de unidades de un programa del sistema principal.
- Comparación entre dos secuencias bajo el criterio de regularidad.
- Determinación de las necesidades temporizadas de todos los componentes, presentes en una BOM, a partir de una secuencia de unidades procedente del sistema principal, ya sea introducida manualmente o determinada automáticamente.
- Ponderación (binaria) de los componentes en el cálculo de la secuencia de unidades del sistema principal.
- Presentación gráfica de los niveles de consumo acumulado de componentes a lo largo del tiempo para una secuencia de unidades procedente del sistema principal, ya sea introducida manualmente o determinada automáticamente.
- Presentación gráfica de los niveles de exceso o defecto sobre el consumo regular. Lo que permite determinar los niveles de stocks necesarios o los generados al fabricar regularmente.
- Presentación gráfica de los niveles de exceso o defecto sobre el consumo de dos secuencias. Lo que permite determinar los niveles de stocks necesarios o los generados al fabricar según una secuencia y consumir según otra.
- Posibilidad de determinar la composición de los lotes de transferencia si se conoce el plazo de consumo y los componentes involucrados en un mismo proceso.
- Posibilidad de determinar el plazo de obtención de los lotes de transferencia si se conoce el plazo de consumo, los componentes involucrados en un mismo proceso, los tiempos de proceso, los tiempos de preparación y los tiempos de cambio.
- Posibilidad de determinar, lote a lote, el stock necesario o el generado por una secuencia de fabricación que no está sincronizada con otra referente que marca el consumo a lo largo del tiempo.
- Posibilidad de evaluar el SSARX de una secuencia con respecto a otra si se conoce el lote de transferencia.
- Posibilidad de evaluar el STARX de una secuencia con respecto a otra si se conoce el lote de transferencia y el plazo de consumo.

### **11.5 Actividades académicas**

Durante el desarrollo del Proyecto se han realizado las actividades de divulgación y producción científica que siguen:

- JOAQUÍN BAUTISTA, JAIME CANO, JORDI PEREIRA (2004) “Secuenciación de productos en líneas de montaje con opciones especiales restringidas (Car-Sequencing Problem)” *2nd World Conference on POM; 15th Annual POM Conference*. Del 30 de Abril al 3 de Mayo del 2004, Cancún, México.
- JOAQUÍN BAUTISTA, JAIME CANO, JORDI PEREIRA (2004) “Minimización del trabajo perdido en la secuenciación de productos mixtos en líneas de montaje”. *2nd World Conference on POM; 15th Annual POM Conference*. Del 30 de Abril al 3 de Mayo del 2004, Cancún, México.
- CÀTEDRA NISSAN (2004) “Caso: Modelo de Gestión para la innovación de la secuencia de suministros” *World Automotive Congress, Fisita 2004*. Barcelona, 23-27 de mayo.
- JOAQUÍN BAUTISTA, JAIME CANO, JORDI PEREIRA (2004) “Minimización del trabajo perdido en líneas de montaje con productos mixtos y múltiples estaciones”. *XXVIII Congreso Nacional de Estadística e Investigación Operativa*. Cádiz, 25–29 Oct, 2004.
- JOAQUÍN BAUTISTA, JORDI PEREIRA (2004) “Algoritmos de hormigas para un problema de equilibrado de líneas con restricciones temporales y espaciales”. *XXVIII Congreso Nacional de Estadística e Investigación Operativa*. Cádiz, 25–29 Oct, 2004.





*Parte Tercera:*  
*Conclusiones y posibles extensiones*



## 12 CRONOGRAMA FINAL

En la Figura 3.1 se presenta el cronograma final vinculado al Proyecto, estableciéndose el inicio del mismo en la primera semana de febrero del 2004, y su finalización la tercera semana del mes de noviembre del mismo año. Quedan pendientes las pruebas de validación del modelo que están a la espera de la recepción de un conjunto completo de datos requeridos para aplicar el modelo elemental M-S.

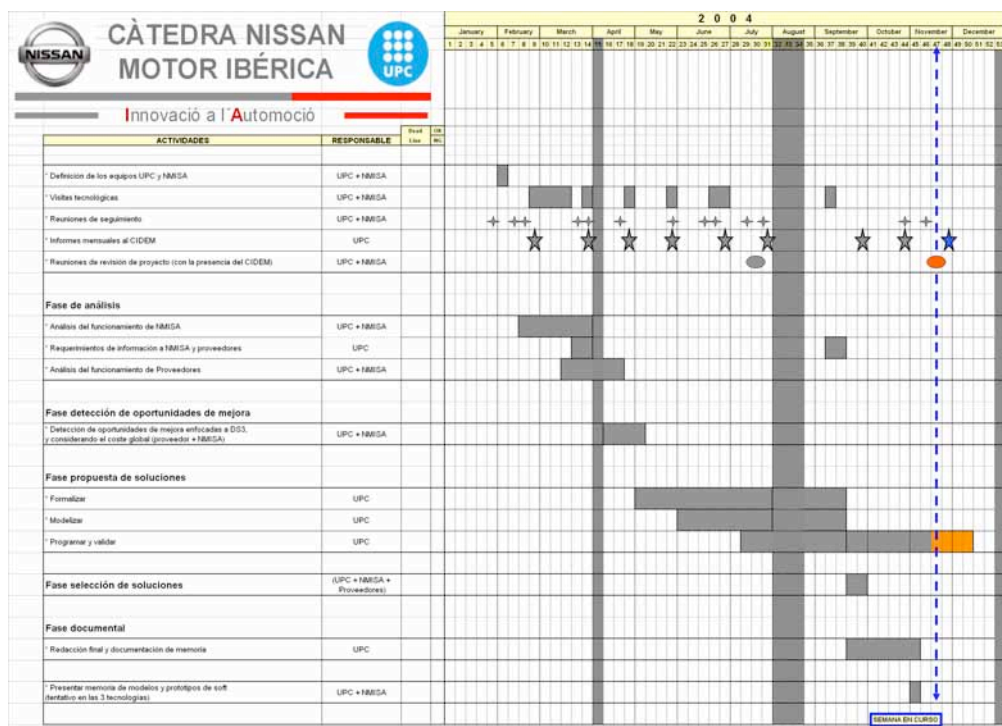


Figura 3.1: Cronograma final del Proyecto 02CN03: *Modelo de Gestión para la Innovación de la Secuencia de Suministros*.

## 13 CONCLUSIONES

En el curso del Proyecto se ha establecido una estrecha colaboración entre los miembros del equipo pluridisciplinario NISSAN-UPC, ello ha permitido abordar los problemas bajo diferentes puntos de vista: las aportaciones relativas a conocimientos tecnológicos y gestión in-situ se han podido combinar con la formalización académica, lo que ha supuesto una transferencia de conocimientos enriquecedora para ambas partes.

La asimilación del sistema de ideas denominado Douki Seisan ha permitido, al equipo UPC, poder adquirir una visión algo distinta a la académica, más disciplinada, del concepto fabricación sincronizada.

La selección de tres Proveedores (EMTISA, VISTEON y EISA) con distintos procesos han permitido, aunque de forma básica, conocer la tipología y complejidad del producto en los distintos procesos: (1) Estampación y Soldadura; (2) Inyección y pintado; y (3) Montaje.

Las visitas a los Proveedores seleccionados y a la propia planta de NMISA han permitido hacer un seguimiento del flujo de algunos materiales, y han permitido detectar una serie de oportunidades de mejora susceptibles de ser abordadas mediante técnicas cuantitativas de organización industrial (optimización y simulación).

Aunque no se haya podido entrar en los detalles de carácter tecnológico de los distintos procesos y llegar a profundizar en ellos (hecho que, en principio, podría parecernos limitativo para acometer la fase de análisis convenientemente), el seguimiento del flujo de materiales nos ha permitido adquirir una visión global del sistema y su complejidad.

Gracias a esta visión global del sistema (como un todo) se ha podido formalizar, con la asistencia de un modelo conceptual de relación elemental entre un sistema maestro y otro sistema proveedor, un conjunto de condiciones necesarias cuyo incumplimiento imposibilita el suministro y/o la fabricación sincronizados.

Para medir el grado de sincronización entre dos secuencias (una maestra demandante y una de suministro oferente) se ha definido un sistema de índices que generalizan (suponen una extensión) los ya empleados en NMISA bajo la denominación SSAR y STAR.

Se ha desarrollado una herramienta informática que puede servir de ayuda a la toma de decisiones en problemas relacionados con la fabricación regular-sincronizada. La aplicación puede ser útil en procesos de estampación y soldadura, de inyección y pintado y de montaje.

Los conocimientos adquiridos han permitido también realizar una serie de actividades de carácter académico, relacionadas con la divulgación y producción científica, cuales son: la presentación de comunicaciones a congresos y la elaboración de un caso de estudio vinculado al Proyecto.

Finalmente, pensamos que el Proyecto difícilmente podría haberse llevado a cabo sin haber contado con un marco de colaboración NMISA-UPC, con la constitución de un equipo pluridisciplinario y bajo la coordinación de la Càtedra NISSAN.

## **14 POSIBLES EXTENSIONES**

En primer lugar, pensamos que es preciso entrar en el conocimiento a fondo en la tipología y complejidad del producto en los distintos procesos básicos del sector de automoción:

- (1) Estampación y Soldadura.
- (2) Inyección y pintado
- (3) Montaje.

Los órdenes de magnitud de plazos, tiempos de proceso, tiempos de preparación, tiempos de cambio de artículo y tamaño de lotes son fundamentales para validar

cualquier modelo. Además, es necesario conocer en profundidad las restricciones tecnológicas que condicionan los valores de los parámetros anteriores.

En cuanto a posibles extensiones del Proyecto vinculadas a las oportunidades de mejora detectadas en NMISA, se propone el estudio y resolución de los siguientes problemas:

- Equilibrado de líneas con mix variable y limitaciones de espacios con el propósito de propiciar la fabricación sincronizada.
- Gestión del WBS con el propósito de mantener secuencia ideal sincrónica.
- Gestión del PBS con el propósito de mantener secuencia ideal sincrónica.
- Estudio de la flexibilización de las plantas de pintura con el propósito de propiciar la fabricación sincronizada.

Finalmente, las oportunidades de mejora detectadas en los tres proveedores sugieren la extensión del Proyecto para estudiar y resolver los problemas siguientes:

- Equilibrar líneas propiciando la fabricación sincronizada.
- Localización de almacenes reguladores en sintonía con fabricación sincronizada.
- Optimización de lotes de transferencia teniendo en cuenta limitaciones de transporte y en sintonía con fabricación sincronizada.
- Optimización del nivel de stock en planta y en almacén regulador en sintonía con fabricación sincronizada.
- Equilibrado de líneas minimizando movimientos de los elementos y utillajes ante alteraciones de la secuencia ideal sincrónica.
- Gestión de piezas de recambio.
- Establecimiento de las fronteras de la fabricación sincronizada para una tecnología conocida y en función del plazo de reacción.